

Proyeksi Kenaikan Tinggi Muka Laut (Sofian, I. dan Nahib, I)

PROYEKSI KENAIKAN TINGGI MUKA LAUT DENGAN MENGUNAKAN DATA ALTIMETER DAN MODEL IPCC-AR4

*(Sea Level Rise Projection By Using Altimetry and
IPCC-AR4 Model Data)*

Oleh/by :

Ibnu Sofian¹ dan Irmadi Nahib²

^{1,2} Peneliti pada Balai Penelitian Geomatika Bakosurtanal

Jl. Raya Jakarta Bogor KM.46, Cibinong, Bogor (021) 875 6041

Email : ibnusofian@gmail.com dan irmnahib@yahoo.com

Diterima (received): 5 Mei 2010; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 17 November 2010

ABSTRAK

Estimasi kenaikan tinggi muka laut (TML) dilakukan dengan menggunakan data altimeter dan model. Hasil analisa dengan menggunakan tren analysis menunjukkan bahwa kenaikan TML di Indonesia berkisar antara 0.2 cm/tahun sampai 1 cm/tahun, dengan kenaikan TML tertinggi terjadi di Samudera Pasifik, sebelah utara Pulau Papua. Pola arus musiman dan Indonesian Through Flow (ITF) mungkin akan terpengaruh dengan adanya kenaikan TML yang tidak seragam, dengan kenaikan TML di Samudera Pasifik lebih tinggi dibandingkan dengan kenaikan TML di Samudera Hindia. Sebagai akibatnya, pola arus geostrofik akan lebih mendominasi dibandingkan dengan kondisi sekarang. Sementara itu, kenaikan TML tidak hanya merubah pola arus, tetapi juga dapat mengakibatkan peningkatan bahaya erosi, perubahan garis pantai dan mereduksi daerah wetland (lahan basah) di sepanjang pantai. Pada akhirnya, ekosistem lahan basah di daerah pantai mungkin akan mengalami kerusakan jika tingkat kenaikan tinggi dan suhu muka air laut melebihi batas maksimal dari kapasitas adaptasi biota pantai.

Kata Kunci : *Proyeksi, Altimeter, Tinggi Muka Laut, IPCC.*

ABSTRACT

The sea level rise has been estimated by using the trend analysis. The analysis results show that the sea level rise within the Indonesian Seas are ranging from 0.2cm/yr to 1cm/yr, with the highest sea level rise is occurred at Pacific Ocean, the north of Papua Island. The inhomogeneous sea level rise may be influences to the seasonal surface current and ITF (Indonesian Through Flow), in which the sea level rise in the Pacific Ocean is higher than the one in the Indian Ocean. As the results, it will be projected that the geostrophic currents will be more dominant than the present condition. On the other hand, sea level rises not only change the characteristics of surface current but also heighten the risk of erosions, coastal line changes and reduction of the wetland area. Eventually, the wetland ecosystem in the coastal region is likely to be destructed if the sea level and sea surface temperature rises are higher than the maximum adaptation capacity of the coastal biota.

Keywords : *Projection, Altimeter, Sea Level, IPCC*

PENDAHULUAN

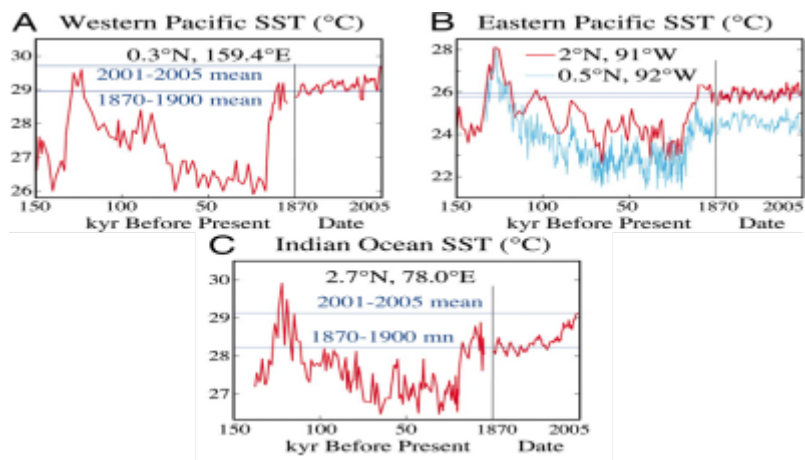
Latar Belakang

Kenaikan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) mengakibatkan kenaikan temperatur global, yang lebih dikenal dengan pemanasan global atau *global warming*. Secara umum, pemanasan global menyebabkan kenaikan tinggi muka laut (TML) baik secara langsung maupun tidak langsung. Kenaikan TML secara gradual merupakan salah satu aspek yang paling kompleks dari efek pemanasan global, dengan akselerasi tingkat kenaikannya seiring dengan semakin intensifnya progres pemanasan global. Kenaikan TML dipengaruhi oleh penambahan masa air karena mencairnya es di Greenland dan Antartika serta es glasier dan bertambahnya volume air karena ekspansi termal dengan massa air tetap, yang disebabkan oleh naiknya suhu air laut.

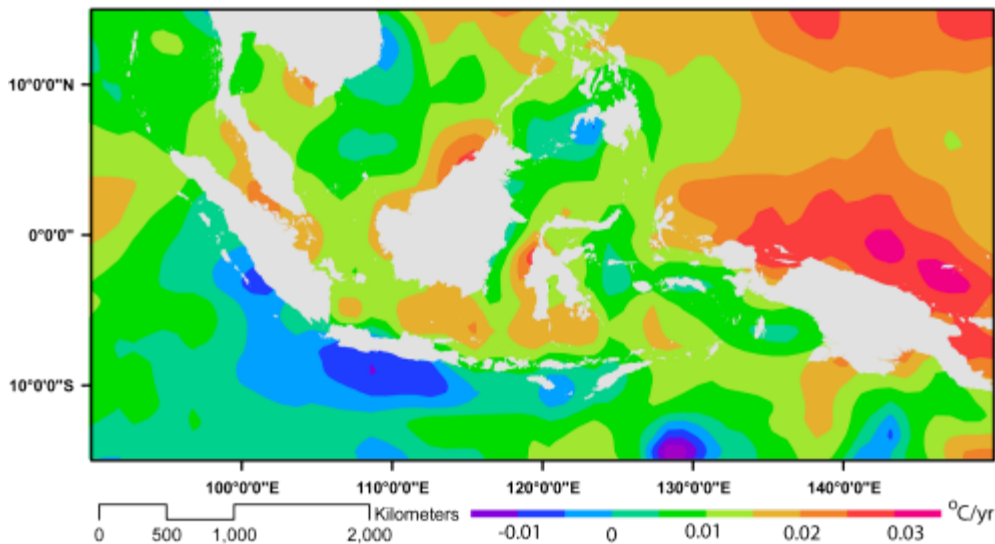
Berdasarkan data paleoklimat di Samudera Pasifik dan Indonesia (**Gambar 1**, Hansen, 2006), didapatkan bahwa suhu permukaan laut (SPL) tertinggi terjadi pada 125 ribu tahun yang lalu, yang mencapai 30°C di Pasifik Barat dan Samudera Hindia, serta 28°C di Pasifik Timur. Berdasarkan **Gambar 1**, terlihat bahwa terjadi kenaikan SPL yang

drastis, terjadi sejak 10 ribu tahun lalu, dengan kenaikan sebesar 2°C sampai 3°C sampai tahun 1870. Sejak tahun 1870 kenaikan SPL terakselerasi dengan terjadinya revolusi industri di Eropa dan Amerika. Akselerasi kecepatan kenaikan SPL makin meninggi sejak tahun 1990-an. Setelah tahun 2005, apabila SPL naik antara 1°C sampai 2°C, maka tinggi SPL tersebut lebih tinggi daripada SPL tertinggi yang pernah terjadi pada 150 ribu tahun lalu.

Sedangkan distribusi spasial tingkat kenaikan SPL dengan menggunakan data bulanan SPL dari NOAA (*National Oceanography and Atmospheric Agency*) *Optimum Interpolation* (OI) versi 2 (Reynolds, 1994), selama 3 dekade terakhir ditunjukkan pada **Gambar 2** (Sofian, 2010). Dari Gambar 2, diindikasikan bahwa kenaikan SPL di Perairan Indonesia bervariasi dari minus 0.01°C/tahun sampai plus 0.04°C/tahun, dengan tren kenaikan tertinggi terjadi di pantai utara Pulau Papua, dan terendah terjadi di pantai selatan Pulau Jawa. Penurunan SPL di pantai selatan Pulau Jawa tidak berarti bahwa akan berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Penurunan ini mungkin disebabkan adanya peningkatan *upwelling* di pantai selatan Pulau Jawa, akibat adanya peningkatan frekuensi El Nino.



Gambar 1. Time-series SPL berdasarkan data paleoklimat dari 150 ribu tahun yang lalu sampai tahun 2005 (Hansen, 2006)



Gambar 2. Tren kenaikan SPL berdasarkan data NOAA OI (Sofian, 2010)

Tabel 1. Sumber Potensial Penyebab Naiknya TML

Sumber potensial penyebab naiknya TML	
Expansi volume air laut	0.2 - 0.4 m per °C (Knutti et al., 2000)
Mencairnya glacier	0.15 - 0.37 m (IPCC, 2007)
Es di Greenland (Greenland)	7.3 m (Bamber et al., 2001)
Es di Antartika bagian barat	5 m (Lythe et al., 2001)
Es di Antartika bagian timur	52 m (Rignot et al., 2006)
TOTAL	± 63m

Sementara itu, Sofian (2010) menyatakan bahwa rata-rata tren kenaikan SPL di Perairan Indonesia berkisar antara 0.02° C/tahun sampai 0.023° C/tahun. Selanjutnya, berdasarkan data observasi ini, maka dapat disimpul-kan bahwa kenaikan SPL sampai tahun 2030 akan mencapai 0.6° C sampai 0.7° C, dan akan mencapai 1° C sampai 1.2° C pada tahun 2050, relatif terhadap rata-rata SPL pada tahun 2000. Sementara itu, SPL akan naik sekitar 1.6° C sampai 1.8° C pada tahun 2080, dan akan mencapai 2° C sampai 2.3° C pada tahun 2100. Hal ini menunjukkan bahwa SPL pada tahun 2050 adalah SPL tertinggi sejak 150 ribu tahun lalu, jika dibandingkan dengan data paleoklimat SPL di Samudera Pasifik Barat. Sebagai tambahan, seiring dengan

kenaikan SPL, maka TML-pun mengalami kenaikan akibat proses termal dan penambahan masa air akibat mencairnya es glasier, Greenland maupun Antartika. Potensi kenaikan TML berdasarkan pertambahan suhu dan mencairnya es, dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kenaikan TML akibat pemanasan global dengan menggunakan *trend analysis*. Selanjutnya penggunaan data altimeter digunakan sebagai dasar untuk mengetahui distribusi spasial tingkat kenaikan TML yang terjadi di perairan Indonesia.

DATA DAN METODE ANALISA

Data

Data tinggi muka air laut yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Data satelit altimeter yang merupakan gabungan dari beberapa satelit altimeter seperti TOPEX/Poseidon (T/P), GFO, Envisat, ERS-1 dan 2, serta Jason-1, yang tersedia sejak Oktober 1992 sampai Oktober 2008. Data altimeter ini diperoleh dari AVISO (AVISO, 2009)
- 2) Data hasil permodelan sampai tahun 2100 diperoleh dari permodelan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) berdasarkan scenario *Special Report on Emission Scenario* (SRES) b1, a1b dan b2, dengan proyeksi konsentrasi CO₂ pada tahun 2100 sebesar 720ppm (*part per million*) dan 520ppm, dengan lebih menitikberatkan hasil analisa menggunakan skenario SRESa1b. Data model IPCC yang digunakan adalah data ketinggian muka air laut, yang merupakan output dari model MRI_CGCM2.3 (Jepang), CCCMA_CGCM3.2 (Kanada) dan Miroc3.2 (Jepang) dan NASA GISS ER (Amerika).

Metode Analisa

Metode yang digunakan untuk estimasi kenaikan tinggi muka air laut dalam penelitian ini adalah *trend analysis*. *Trend analysis* yang digunakan untuk mengetahui kecenderungan serta tingkat kenaikan tinggi muka air laut berdasarkan data historis yang meliputi data satelit altimeter dan pasut, maupun data hasil model IPCC. Dalam hal ini, *trend analysis* merupakan analisa regresi linier tinggi muka air laut terhadap waktu dalam bulan,

dengan persamaan matematis $y = a + bt$. Dimana y adalah tinggi muka air laut, t waktu dalam bulan, a offset, dan b adalah tingkat kenaikan (*slope, trend*). Detil diagram alir penghitungan kenaikan tinggi muka air laut dengan menggunakan *trend analysis* seperti terlihat pada **Gambar 3**, dimana dari diagram ini diketahui estimasi kenaikan tinggi muka air laut dengan menggunakan data historis dan model IPCC, yang terdiri dari 4 model, yaitu MRI, CCCMA CGCM 3.2, Miroc 3.2 dan NASA GISS ER

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi rata-rata TML di Perairan Indonesia ditunjukkan pada **Gambar 4**. Secara umum TML di Samudera Pasifik 30cm sampai 50cm lebih tinggi dibandingkan TML di Samudera Hindia. TML di Laut Jawa berkisar antara 20cm sampai 30cm dan lebih rendah 30cm dibandingkan dengan TML di Selat Karimata. Pola *Indonesia Through Flow* (ITF) terlihat jelas dari karakteristik TML, dengann membentuk TML yang lebih rendah dibandingkan dengan TML sekitarnya, terutama ITF lintas tengah, melalui Selat Makassar dan keluar ke Samudera Hindia melalui Selat Lombok, Selat Timor dan Laut Sawu, dan juga terlihat lintasan jalur ITF sebelah timur melalui Kepulauan Maluku dan keluar ke Samudera Hindia melalui Selat Timor dan Laut Sawu. Sementara itu Jalur ITF lintas barat, melalui Selat Karimata, Laut Jawa dan Selat Lombok, namun tidak terlihat jelas.

Hal ini mungkin disebabkan karena arus di kedua selat ini banyak dipengaruhi oleh angin, dengan kedalamannya yang dangkal hanya berkisar 40m sampai 50m, meskipun rata-rata arus tahunannya cenderung mengalir ke Samudera Hindia melalui Selat Lombok (Sofian, 2008).



Gambar 3. Diagram alir estimasi kenaikan tinggi muka air laut

Selanjutnya, hasil analisa *spatial trend analysis* ditunjukkan pada **Gambar 5**. Kenaikan TML berkisar antara 0.2cm/tahun sampai 1cm/tahun, dengan rata-rata kenaikan sebesar 0.6cm/tahun. Kenaikan TML tertinggi terjadi di Samudera Pasik sebelah utara Pulau Papua mencapai 1cm/tahun, dan kenaikan terendah terjadi di pantai selatan Pulau Jawa yang hanya berkisar antara 0.2cm/tahun sampai 0.4cm/tahun. Kenaikan TML pada tahun 2030 akan mencapai 6cm sampai 30cm, dengan rata-rata kenaikannya untuk seluruh wilayah Indonesia, berkisar antara 15cm sampai 18cm. Pada tahun 2050, TML meningkat menjadi 10cm sampai 50cm dengan kenaikan rata-rata sebesar 25cm sampai 30cm. Kenaikan TML pada tahun 2080 akan mencapai 16cm sampai 80cm dengan rata-rata kenaikan berkisar antara 40cm sampai 48cm. Pada akhirnya, TML akan meningkat sebesar 20cm sampai 100cm, dengan rata-rata kenaikan sebesar 50cm sampai 60cm.

Kenaikan TML hasil estimasi menggunakan data pasang dapat dilihat pada **Gambar 6** (Sofian, 2010). Kenaikan TML bervariasi antara 0.4cm/tahun sampai 1.2cm/tahun, dengan kenaikan TML terendah di Darwin dan tertinggi di Manila. Nilai rata-rata kenaikan TML di perairan Indonesia berkisar antara 0.7cm/tahun sampai 0.8cm/tahun. Proyeksi kenaikan TML pada tahun 2030 diperkirakan mencapai $24\text{cm} \pm 16\text{cm}$ relatif terhadap TML di tahun 2000. Selanjutnya TML

akan bergerak naik seiring dengan peningkatan SPL. TML akan naik sebesar $40\text{cm} \pm 20\text{cm}$ dan $56\text{cm} \pm 32\text{cm}$, masing-masing pada tahun 2050 dan 2080. Pada akhirnya TML akan naik sebesar $80\text{cm} \pm 40\text{cm}$ di tahun 2100.

Sebagai tambahan, kenaikan TML ini berkaitan erat dengan kenaikan SPL, dengan asumsi kenaikan setiap 1°C SPL meningkatkan TML sebesar 20cm sampai 40cm, maka kenaikan TML akan mencapai 45cm sampai 90cm berdasarkan tingkat kenaikan SPL sebesar 2.2°C pada tahun 2100. Tingkat kenaikan TML berdasarkan pasang relatif sama dengan tingkat kenaikan TML berdasarkan data altimeter.

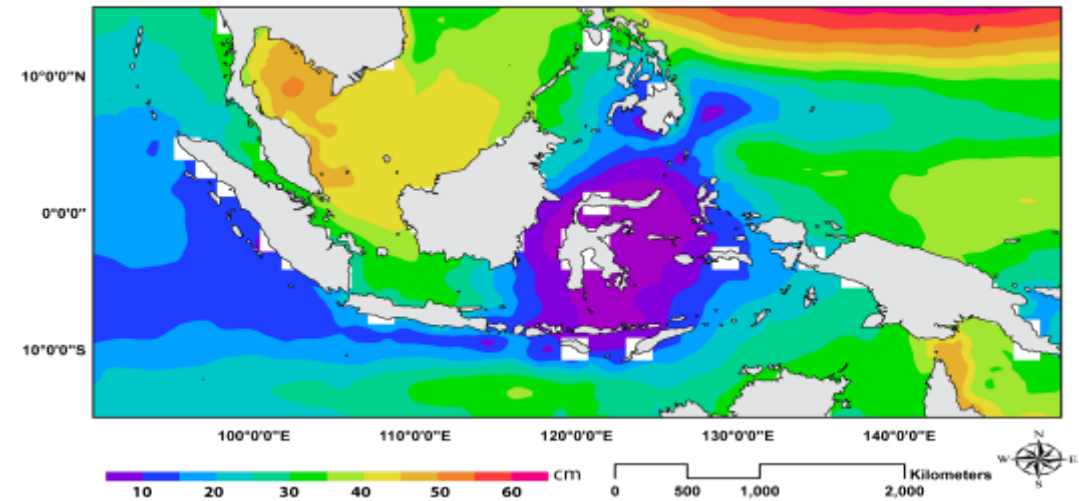
Data hasil model berdasarkan skenario IPCC, *Special Report on Emission Scenario* (SRES) menunjukkan bahwa kenaikan TML global akan bervariasi dari 0.2 cm/tahun sampai 0.8cm/tahun sampai tahun 2100 (**Gambar 7**). Rata-rata kenaikan TML global berkisar antara 0.6cm/tahun, maka estimasi kenaikan TML Perairan Indonesia dengan menggunakan data ini sebagai basis, dan elevasi muka laut dari model MRI 3.2 untuk menggambarkan distribusi spasial kenaikan TML di Perairan Indonesia. Pemilihan MRI model ini didasarkan pada hasil validasi model yang telah dilakukan seperti yang telah dijelaskan oleh Sofian (2010).

Selanjutnya, tingkat kenaikan TML berkisar antara 0.7cm/tahun sampai 0.8cm/tahun. TML naik $22.5 \pm 1.5\text{cm}$ pada tahun 2030 relatif terhadap TML tahun

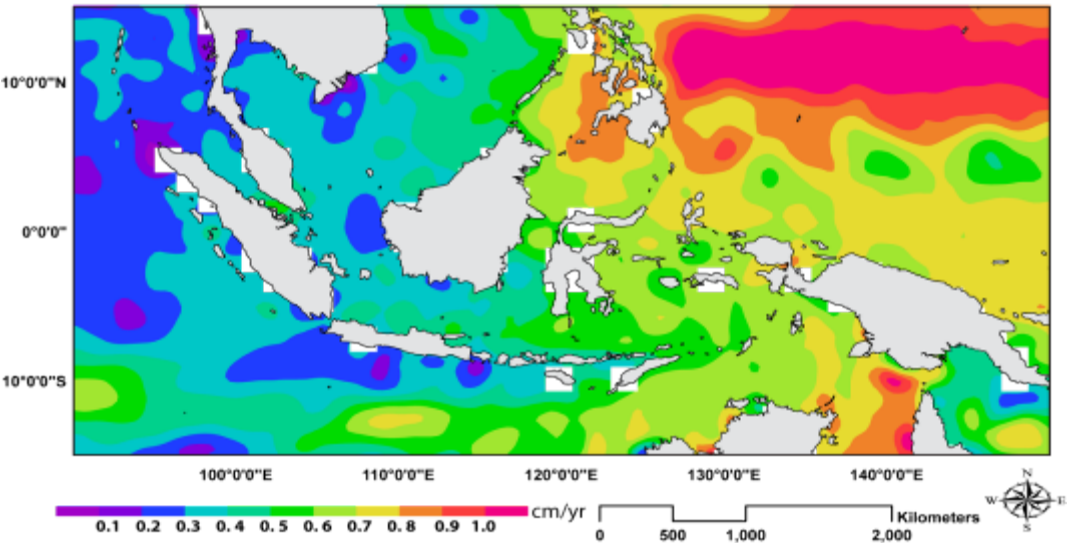
2000, selanjutnya akan berkisar antara 35cm sampai 40cm pada tahun 2050. TML akan terus naik dan mencapai 60 ± 4 cm pada tahun 2080, dan mencapai 75 ± 5 cm pada tahun 2100.

Hasil estimasi kenaikan TML berdasarkan altimeter, pasut dan model,

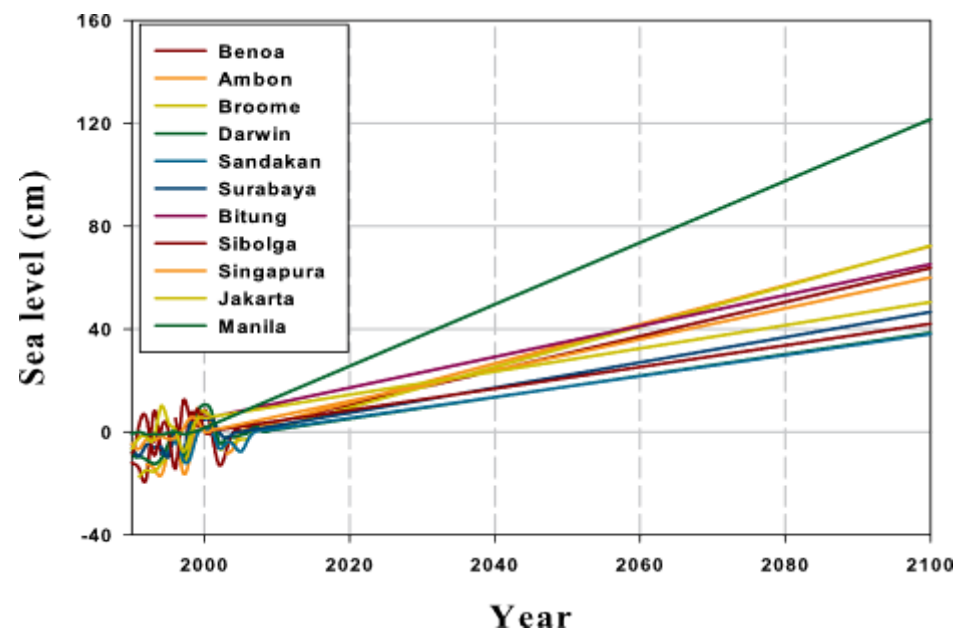
menunjukkan tren yang sama dengan tingkat kenaikan rata-rata sekitar 0.6cm/tahun sampai 0.8cm/tahun. Rangkuman kenaikan TML dari tahun 2030 sampai 2100 terhadap tinggi TML tahun 2000, dapat dilihat pada **Tabel 2**.



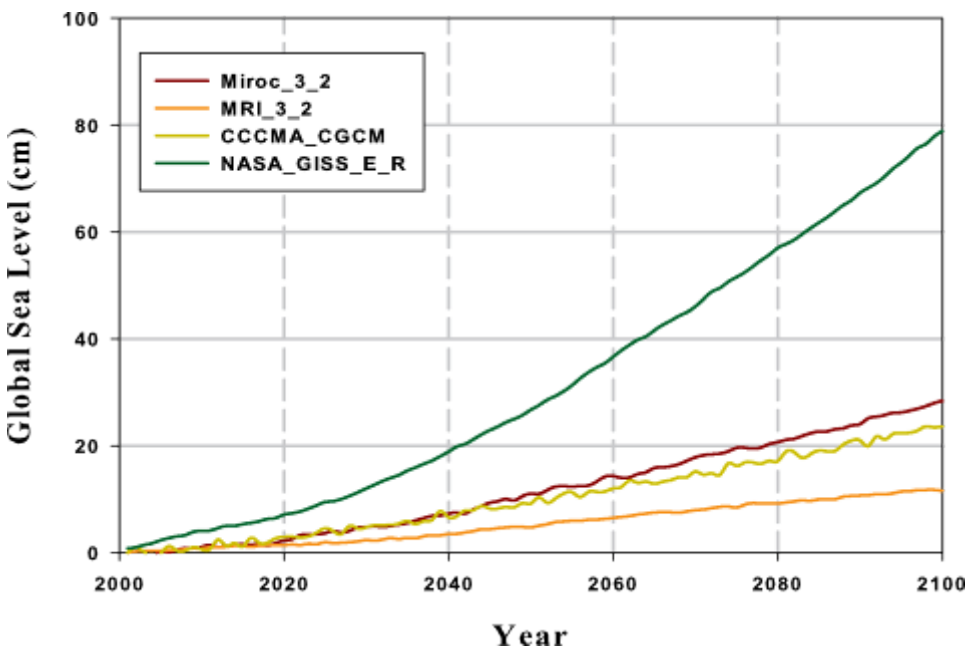
Gambar 4. TML rata-rata selama 15 tahun dari Januari 1993 sampai Desember 2009, dengan menggunakan titik 0cm berdasarkan TML regional terendah



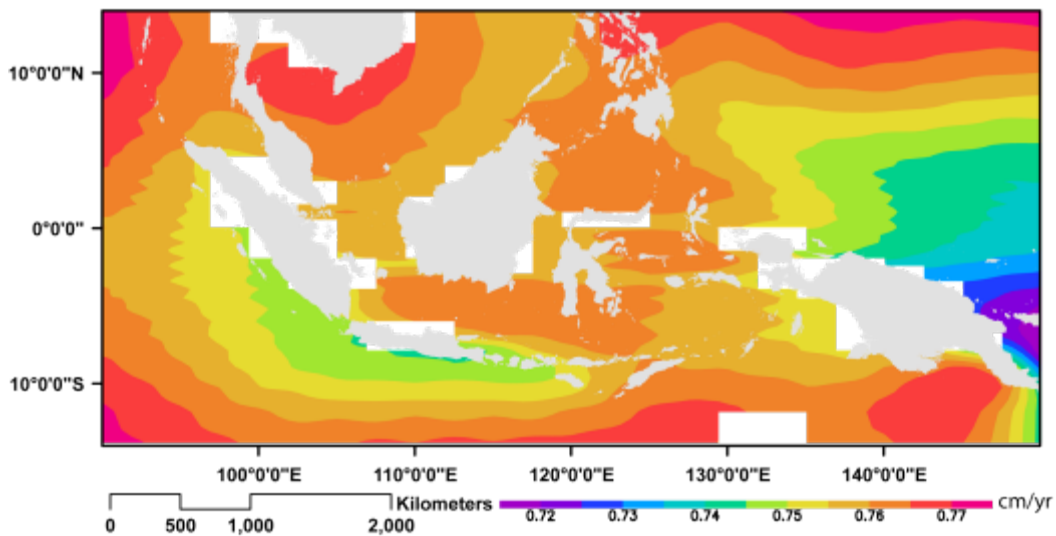
Gambar 5. Tren kenaikan TML berdasarkan data altimeter dari Januari 1993 sampai Desember 2009 dengan menggunakan *spatial trend analysis*



Gambar 6. Estimasi kenaikan tinggi muka laut (TML) dengan menggunakan beberapa data pasut yang diperoleh dari *University of Hawai'i Sea Level Center (UHSLC)* (Sofian, 2010)



Gambar 7. Estimasi *global sea level change* berdasarkan IPCC SRESa1b dengan asumsi konsentrasi CO2 sebesar 720ppm



Gambar 8. Estimasi tingkat kenaikan TML di Perairan Indonesia berdasarkan skenario IPCC SRESa1b dengan asumsi konsentrasi CO2 sebesar 750ppm

Tabel 2. Proyeksi Kenaikan Rata-rata TML di Perairan Indonesia

Period	Sea Level Rise Projection since 2000			Level of confident
	Tide Gauge	Altimeter ADT	Model	
2030	24.0cm±16.0cm	16.5cm±1.5cm	22.5±1.5cm	Moderate
2050	40.0cm±20.0cm	27.5cm±2.5cm	37.5±2.5cm	Moderate
2080	64.0cm±32.0cm	44.0cm±4.0cm	60.0±4.0cm	High
2100	80.0cm±40.0cm	60.0cm±5.0cm	80.0±5.0cm	High

KESIMPULAN

Secara umum kenaikan TML di perairan Indonesia bervariasi dari 0.2cm/tahun sampai 1cm/tahun, berdasarkan data altimeter, pasut dan model. Selanjutnya, kenaikan TML akibat pemanasan global menjadi sesuatu yang tidak bisa terelakkan dengan segala konsekuensinya. Pola arus musiman dan ITF mungkin akan terpengaruh dengan adanya kenaikan TML yang tidak seragam, dengan kenaikan TML di Samudera Pasifik lebih tinggi dibandingkan dengan kenaikan TML di Samudera Hindia. Pada akhirnya pola

arus geostrofik akan lebih mendominasi dibandingkan dengan kondisi sekarang.

Sementara itu, kenaikan TML tidak hanya merubah pola arus, juga dapat mengakibatkan peningkatan terjadinya erosi, perubahan garis pantai dan mereduksi daerah *wetland* (lahan basah) di sepanjang pantai. Ekosistem lahan basah di daerah pantai mungkin akan mengalami kerusakan jika tingkat kenaikan tinggi dan suhu muka air laut melebihi batas maksimal dari kapasitas adaptasi biota pantai. Disamping itu kenaikan TML juga mempertinggi tingkat laju intrusi air laut terhadap aquifer daerah pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- AVISO. 2009. Ssalto/Duacs User Handbook: (M) SLA and (M) ADT Near-Real Time and Delayed Time Products. *SALP-MU-P-EA-21065-CLS*. Edition 1.10.
- Bamber J.L., R.L. Layberry, and S.P. Gogenini. 2001. A new ice thickness and bedrock data set for the Greenland ice sheet. *JGR Atmospheres*. 106, D24: 33773-33780.
- Hansen, J., 2006, Global temperature change, *PNAS*, 103, 39, 14288-14293.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007-The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Knutti, Reto and T. F. Stocker. 2000. Influence of the Thermohaline Circulation on Projected Sea Level Rise. *Journal of Climate* 13, 12: 1997-2001.
- Lythe, B. Matthew, D. G. Vaughan and the BEDMAP Consortium. 2001. BEDMAP: A new ice thickness and subglacial topographic model of Antarctica, *J. Geo. Res.* 106, B6: 11335–11351.
- Rignot, E. and P. Kanagaratnam. 2006. Changes in the Velocity Structure of the Greenland Ice Sheet. *Science*. 311. 5763: 986-990.
- Sofian, I. 2010. Indonesian Climate Change Sectoral Roadmap. Science Basis Book-2. Sea Level Rise and Extreme Event Projections. Bappenas. Jakarta.